

Die VOLTASche Säule (1792—1801).

VOLTA.

Es handelt sich hier nicht um einen eigentlichen Grundversuch, sondern um ein ganzes System von Einzelversuchen, welche schließlich zu einem einheitlichen Endresultat geführt haben, nämlich zur Entdeckung eines neuen Prinzips der Elektrizitätserzeugung. Die Darstellung ist, wie der Autor selbst sagt, weitschweifig und bewegt sich häufig in mehr oder minder

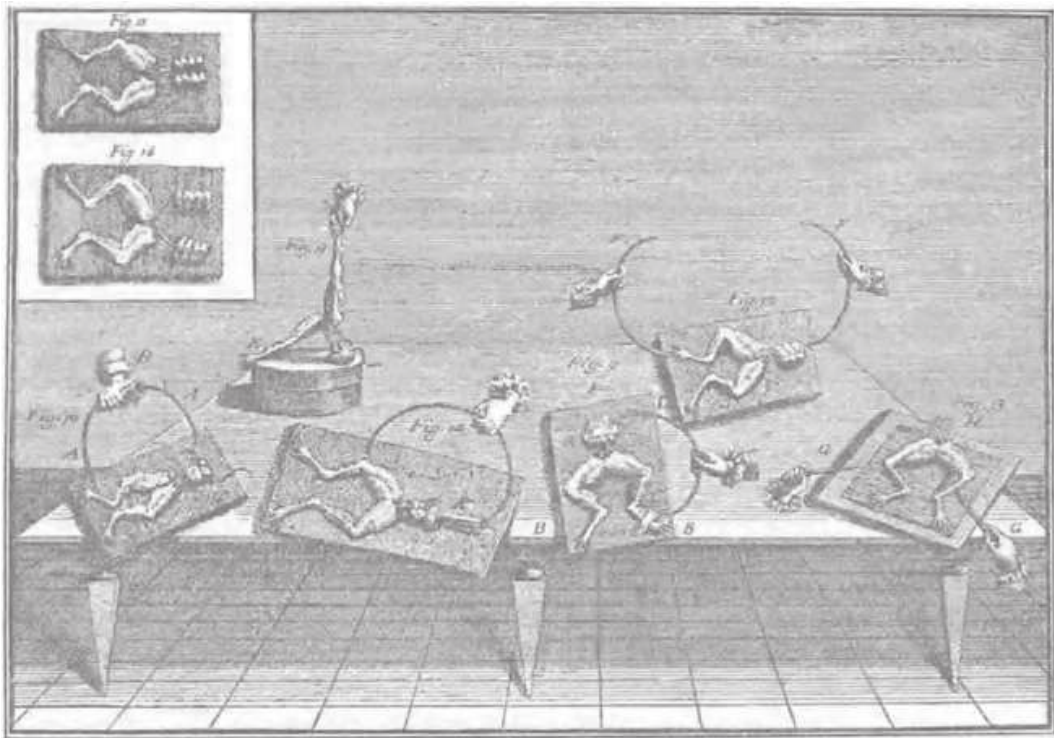


Abb. 70.

variieren Wiederholungen, wie dies auch durch die Art der Veröffentlichung in der Form von Briefen an verschiedene Adressaten gegeben ist. Es ist daher nicht leicht, den wirklichen Gang der Versuche und Gedanken wiederzugeben. Ich muß mich damit begnügen, die Hauptstufen darzustellen, welche zu der gewaltigen Höhe des Enderfolges geführt haben. —

VOLTA hat von GALVANI, dessen große Leistung er stets und voll anerkannt hat, folgende Ergebnisse übernommen:

1. Ein Froschpräparat, wie es in Abb. 70 dargestellt ist, zuckt zusammen, wenn in einer Entfernung von einigen Fuß der Funke einer Elektrisiermaschine übergeht.

2. Derselbe charakteristische Effekt tritt ein, wenn man den Nerv und den Beinmuskel gleichzeitig mit einem metallischen Leiter berührt: Dieser

Effekt scheint seiner ganzen Art nach der gleiche zu sein wie beim Übergang des Funkens. Für seine elektrische Natur spricht auch sein verschiedenes Verhalten bei der Berührung mit Leitern und mit Isolatoren.

3. Die Versuchsergebnisse lassen sich unter folgendem einheitlichen Gesichtspunkt erklären: Die äußere Muskelfläche und die den Nerv umgebende innere Muskelfläche bilden die Belegungen einer mit „tierischer Elektrizität“ aufgeladenen Leydener Flasche. Der Nerv spielt dabei die Rolle des „Konduktors“, d. h., der in der Achse der Flasche montierten Zuleitung zur inneren Belegung. Die gleichzeitige Berührung von Muskel und Nerv muß daher eine elektrische Entladung herbeiführen, welche sich ebenso wie eine von außen kommende Entladung durch ein Zucken des Muskels manifestiert.

4. Endlich hatte GALVANI bei seinen Versuchen noch die Beobachtung gemacht, daß das Zucken des Muskels besonders lebhaft wird, wenn die leitende Verbindung zufällig aus zwei verschiedenen Metallen besteht. Diese Erscheinung hatte mit der Deutung des Versuchsergebnisses nach Punkt 3 an sich nichts zu tun und hatte für GALVANI nur den Charakter einer Nebenbeobachtung, hätte ihn aber stutzig machen sollen, da sie bei der Entladung der Leydener Flasche kein Analogon findet.

Um das Verhältnis VOLTAS zu GALVANI richtig zu verstehen, muß man im Auge behalten, daß GALVANI Anatom und Physiologe, VOLTA dagegen geschulter Physiker war, der sich schon durch die Verbesserung des Elektrophors und des Kondensators einen Namen gemacht hatte.

VOLTA erkannte die Entdeckerleistung GALVANIS voll an und war anfangs selbst durch den faszinierenden Vergleich des Muskels mit einer Leydener Flasche stark beeindruckt. Er hatte eigentlich nur die Absicht, die Versuche GALVANIS zu wiederholen und *quantitativ* zu unterbauen. („Was läßt sich Gutes, besonders in der Physik hervorbringen, wenn nicht alles auf Maß und Grade berechnet ist?“) VOLTA stellte zunächst fest, daß es sich bei dem Zucken des Froschpräparates unter dem Einfluß eines entfernten Funkens um einen Rückschlag, d. h. um die Wiedervereinigung der durch Influenz getrennten beiden Elektrizitäten, handelte. Die Reizung erfolgt also durch den elektrischen Strom, welcher den Ausgleich herbeiführt. VOLTA prüfte dann weiter, wie groß ein solcher Strom im Minimum sein muß, um ein sichtbares Zucken hervorzurufen, und fand, daß die hierzu ausreichende Ladung einer Leydener Flasche — weit entfernt, etwa einen Funken zu verursachen — an der Grenze der Meßmöglichkeiten mit dem empfindlichsten Elektrometer der damaligen Zeit lag. Er kam damit zu der Auffassung, daß das Froschpräparat ein physiologisches Elektrometer darstellt, welches die damals gebräuchlichen physikalischen Instrumente an Empfindlichkeit weit übertrifft. An welcher Stelle ist nun diese Empfindlichkeit lokalisiert? Beim Durchgang der Elektrizität durch den Muskel, beim Durchgang der Elektrizität durch den Nerv oder beim Übergang der Elektrizität vom Muskel zum Nerv? Diese Frage war am einfachsten an dem freigelegten Nerv des Froschpräparates zu prüfen. VOLTA umfaßte den Nerv an zwei nur eine Linie voneinander entfernten Stellen mit Stanniolbelegungen, wie sie schon GALVANI zur Verstärkung der Wirkung im Gedanken an die Belegungen der Leydener Flaschen angewandt hatte, und

schickte eine kleine Entladung durch das kurze Nervenstück zwischen den beiden Belegungen. Er konnte ein starkes Zucken des Beinmuskels beobachten. Dies führte ihn zu der allgemeinen Erkenntnis, daß der Nerv es ist, welcher durch den Strom gereizt wird, und daß der so gereizte Nerv dann seine natürliche Funktion auf den von ihm abhängigen Muskel ausübt, so daß dieser in Zuckungen gerät.

VOLTA ging jetzt zu den Versuchen im Sinne GALVANI^s über, bei welchen keine äußere Elektrizitätsquelle mitzuwirken schien. Er verband die beiden einander sehr nahen Belegungen des obigen Nervenversuches metallisch miteinander und erhielt ein Zucken des zugehörigen Muskels. Diese Beobachtung ließ sich nicht mehr in Einklang bringen mit der GALVANISCHEN Auffassung von der Entladung einer Leydener Flasche Muskel-Nerv. An dieser Stelle scheint VOLTA die Auffassung GALVANI^s endgültig verlassen zu haben.

VOLTA variierte jetzt den letzten Versuch, indem er die beiden Belegungen des Nervs aus zwei verschiedenen Metallen bildete, im Anschluß daran, daß GALVANI besonders starke Zuckungen erhalten hatte, wenn er den Schließungsbogen aus zwei verschiedenen Metallen bestehen ließ. VOLTA nennt die Verwendung zweier verschiedener Metalle, z. B. Ag und Sn, einen „Kunstgriff“, mittels dessen auch dann noch ein Zucken des Muskels hervorgerufen werden kann, wenn die Lebenskraft¹ des Präparates schon stark abgenommen hat. Tatsächlich war dieser bloße „Kunstgriff“ der *entscheidende* Schritt! Die weiteren Versuche führen VOLTA nun mehr und mehr zu der Auffassung, daß die Metalle nicht lediglich die Rolle des Leiters spielen, welcher den Überschuß der Elektrizität, der sich aus unbekannten physiologischen Gründen an einer Stelle gebildet hat, zu der Stelle eines Unterschusses hinführt, sondern daß die Berührung der beiden verschiedenen Metalle die *Ursache* der elektrischen Spannungsdifferenz ist, welche sich durch den Nerv entlädt und diesen zur Reizung des Muskels veranlaßt. Mit anderen Worten: Die Berührung der beiden verschiedenen Metalle ist eine neu entdeckte Quelle der Elektrizität, aber nicht der tierischen Elektrizität, sondern der gewöhnlichen Elektrizität, wie sie u. a. auch durch die Reibungselektroskopmaschine erzeugt wird.

Das Froschpräparat² selbst *erzeugt* keine Elektrizität, sondern bildet lediglich ein hochempfindliches Elektrometer, welches die von VOLTA so

¹ Dieser Begriff tritt immer wieder auf. Er ist in diesem Zusammenhang wohl am besten als die Fähigkeit des Nervs zu definieren, in dem ihm untergeordneten Muskel die spezifische Bewegung hervorzurufen, eine Fähigkeit, welche naturgemäß nach dem Tode des Tieres mit der Zeit immer mehr abnimmt.

² Eine zweite Versuchsreihe, bei welcher die Geschmacksnerven durch Belegung der Zunge mit zwei verschiedenen Metallen und durch metallische Verbindung der beiden Belegungen gereizt werden, läuft den Froschversuchen parallel. Je nach der Wahl der Metalle ergibt sich an der Zungenspitze ein saurer oder alkalischer Geschmack. Das Ergebnis dieser Versuche, die schon von SULZER 1760 angestellt worden waren, ohne daß VOLTA sie zunächst kannte, ist das gleiche wie das der Froschversuche, welche wegen ihrer größeren Variierbarkeit im Vordergrund stehen. In einem Punkte sind die Zungenversuche allerdings den Froschversuchen überlegen, sie ergeben nicht nur die Stärke, sondern auch die Richtung des Stroms und sind daher für die erste Aufstellung der Spannungsreihe von großem Wert. — Auch die Erweiterungen der VOLTAschen Versuche auf andere Tiere und auf andere Sinnesorgane führen sämtlich nur zu denselben Resultaten.

bezeichnete „metallische“ Elektrizität auch dann noch anzeigt, wenn sie für ein gebräuchliches Elektrometer unmeßbar klein sein sollte.

Dabei ist die neue Elektrizitätsquelle um so kräftiger, je unähnlicher sich die beiden Metalle sind. Als Maß für diese Unähnlichkeit benutzt VOLTA den Abstand der Metalle in seiner „Spannungsreihe“. Die erste von VOLTA angegebene Spannungsreihe hat eine solche Form, daß die Metalle zunächst in drei Gruppen zusammengefaßt werden:

(Sn	Pb)		(Fe	Cu	Messing)		(Hg	Au	Ag	Pt)
gute Wirkung					schlechte Wirkung					
sehr gute Wirkung										

Das ist von jetzt an die Grundlage für alle Versuche und für alle Erklärungen VOLTA's, welche für ihn unerschütterlich feststeht¹ und von ihm selbst mit berechtigtem Stolz als eine „kapitale“ Entdeckung bezeichnet wird. Seine weitere Arbeit beschränkt sich im einzelnen darauf, die entgegenstehenden Versuche und Ansichten seiner Gegner, besonders ALDINI's, zu widerlegen. Ein schwerwiegender Einwand war der, daß das Zucken des Muskels auch dann eintritt, wenn der Muskel und Nerv miteinander verbindende Bogen aus ein und demselben Metall besteht. VOLTA's Gegenargument besteht darin, daß die beiden Enden des Metalls in Wirklichkeit niemals gleich sind, sondern sich in irgendwelchen Eigenschaften, z. B. der Härte, der Politur, der genauen Zusammensetzung oder irgend einer anderen Oberflächenbeschaffenheit, doch unterscheiden. Die Deutung des ALDINISCHEN Versuches, bei welchem Quecksilber als Verbindungsbogen einen Effekt gibt, widerlegt er damit, daß gerade das Quecksilber Verschiedenheiten zwischen seinem Innern und seiner Oberfläche zeigt, daß also der Nerv innerhalb des reinen Quecksilbers liegt, während der Muskel von der oxydierten Quecksilberoberfläche berührt wird, gerade wie Blei, das an einem Ende blank und am anderen Ende oxydiert ist, einen merklichen Effekt gibt. Dieser Gegenbeweis ist nicht zu widerlegen, da die absolute Gleichheit der beiden Enden nie bewiesen werden kann, erscheint aber doch etwas billig. Wichtiger ist es nach meiner Meinung, daß in den Fällen eines „homogenen“ Leiters der Effekt jedenfalls um eine Größenordnung kleiner ist als bei zwei verschiedenen Metallen.

Wesentlicher erscheint mir der Einwand, daß auch ein Verbindungsbogen aus nichtmetallischen, feuchten Leitern einen Effekt gibt. VOLTA konstatiert zunächst, daß der Effekt in diesen Fällen sehr gering ist, und führt ihn im übrigen wieder auf die Verschiedenheit der feuchten Leiter an ihren beiden Enden zurück, sei es, daß der Leitungsbogen von vornherein aus zwei verschiedenen Flüssigkeiten besteht oder daß ein und dieselbe Flüssigkeit zufällige Verschiedenheiten an ihren Enden besitzt oder bekommt. VOLTA erweitert damit seinen Grundsatz dahin, daß anstelle verschiedener Metalle auch verschiedene Flüssigkeiten durch ihre Berührung eine solche neuartige Elektrizitätsquelle bilden können. — Mag es VOLTA in dieser

¹ „Dies ist der Weg, den ich bis jetzt gegangen bin und welchen ich auch bei den in der Zukunft folgenden Abhandlungen nicht verlassen werde.“

ganzen Polemik auch nicht immer gelingen, jede einzelne Gegenbehauptung zu widerlegen, so hat er doch darin recht, daß die *Gesamtheit* seiner Versuche die Richtigkeit seiner Grundanschauung „mit Händen greifen läßt“.

VOLTA fehlt jetzt nur noch eine quantitative, von Tierversuchen unabhängige Festlegung der Spannungsreihe, d. h., er muß die bei Berührung auftretenden Spannungen objektiv messen. Für direkte Messungen an den damaligen Elektrometern sind diese Spannungen zu klein. Sie lassen sich aber durch verschiedene Methoden bis in den Bereich der Meßbarkeit erhöhen. Das wirksamste, aber nur sehr vorsichtig zu handhabende Instrument hierfür ist der sog. Duplikator, d. h. eine kleine Influenzmaschine, welche durch eine entsprechende Zahl von Umdrehungen eine ursprünglich durch Berührung entstandene minimale Elektrizitätsmenge bis zur Meßbarkeit vervielfacht. Ein anderes Mittel ist der von VOLTA meisterhaft gehandhabte Kondensator, d. h. ein Paar möglichst ebener, verschiedenartiger Metallplatten, welche durch eine dünne Isolationsschicht in geringstem Abstand gehalten und durch Berührung ihrer Außenseiten mittels eines Drahtes auf die ihrer Verschiedenheit entsprechende Spannungsdifferenz gebracht werden. Hebt man zum Schluß die obere Platte ab, so vervielfacht sich die Spannung zwischen den Platten entsprechend der Verminderung der zunächst sehr großen Kapazität.

Unter Benutzung dieser Hilfsmittel hat VOLTA seiner Spannungsreihe eine quantitative Grundlage gegeben. Er hat dabei gleichzeitig das Grundgesetz der Spannungsreihe gefunden, nach welchem die Spannungsdifferenz zweier Metallstücke von gleicher Größe ist, einerlei, ob sie direkt oder durch Vermittlung eines dritten Metalls miteinander verbunden werden.

Fassen wir jetzt die Ergebnisse der VOLTAschen Forschungsarbeit zusammen:

1. Die Berührung zweier verschiedener, leitender Substanzen, besonders zweier Metalle, ist eine neuartige, wenn auch noch gänzlich unverstandene Quelle der Elektrizität.

2. Bei den Tierversuchen spielt die Berührung der beiden verschiedenen Metalle die aktive Rolle des Elektrizitätserzeugers, während das tierische Präparat nur als ein organisches Elektrometer wirkt.

3. Die Metalle lassen sich in eine Spannungsreihe ordnen, bei welcher die Spannungsdifferenz zweier verschiedener Metalle ihrem Abstand in der Reihe entspricht. Die Spannungsdifferenz ist dabei die gleiche, einerlei, ob die beiden Metalle direkt oder durch Vermittlung eines beliebigen dritten Metalls miteinander verbunden sind.

4. Die Spannungsreihe, in welche sich auch Kohle und einige Erze einordnen lassen, ist in ihrer letzten von VOLTA gegebenen Gestalt die folgende:

Zink,	Platin,
Stanniol,	Gold,
gewöhnliches Zinn in Platten,	Silber,
Blei,	Quecksilber,
Gelbkupfer und Bronze von	Reißblei,
verschiedener Beschaffenheit,	Holzkohle.
Kupfer,	

5. Die tierische Elektrizität in der alten Auffassung GALVANI's muß als erledigt angesehen werden.

Von der so gewonnenen Grunderkenntnis schreitet VOLTA jetzt weiter fort zur Entwicklung einer praktisch brauchbaren, vom Tierversuch losgelösten, mächtigen Elektrizitätsquelle, zur VOLTASchen Säule.

Die Aufgabe besteht darin, einen dauernd kreisenden Strom zu erzeugen. Dabei ergibt sich zunächst folgende Schwierigkeit. Verbindet man zwei sich berührende Metalle, z. B. Cu und Zn, auch an ihren beiden anderen

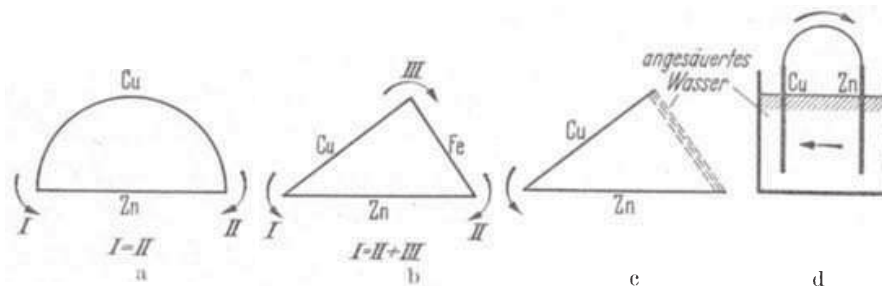


Abb. 71 a—d.

Enden miteinander, so kann die bei der Berührung auftretende elektromotorische Tendenz nicht zu einem Kreisstrom führen, weil die beiden Tendenzen an den Berührungsstellen sich das Gleichgewicht halten (Abbildung 71a). Stellt man die leitende Verbindung zwischen den anderen



Abb. 72.

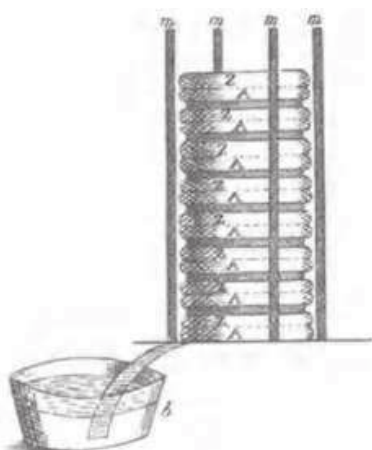


Abb. 73.

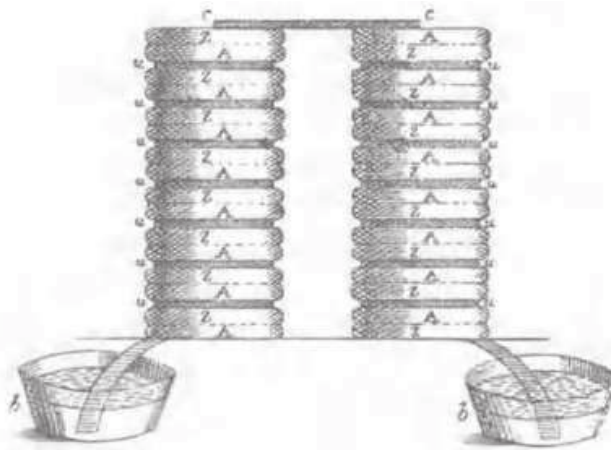


Abb. 74.

Enden zweier Metalle, wie Cu und Zn, durch ein drittes Metall, z. B. Fe, her, so kann trotzdem noch kein Strom fließen, da die Spannungsreihe ja der Gesetzmäßigkeit unterliegt, daß die elektromotorische Kraft die gleiche ist, einerlei, ob sich zwei Metalle direkt oder durch die Vermittlung eines dritten berühren. Auch auf diesem Wege kann man also nicht zu einem Kreisstrom gelangen. (Abb. 71b).

Alles dies gilt aber nur von den Stoffen, welche dem Gesetz der Spannungsreihe folgen, den Metallen. Ihnen stehen die leitenden Flüssigkeiten

gegenüber, welche sich nicht in die Gesetzmäßigkeiten der Spannungsreihe einfügen. Bezeichnet man die Metalle als Leiter I. Klasse und die leitenden Flüssigkeiten als Leiter II. Klasse, so kommt man also zu dem Schluß, daß sich aus zwei Leitern I. Klasse und einem dazwischen eingeführten Leiter II. Klasse, z. B. angesäuertem Wasser (Abb. 71c), ein Kreisstrom erhalten läßt. So kommen wir zu dem VOLTAschen Element in der Form der Abb. 71d.

Dieses Element ist der Baustein für eine ganze galvanische Kette, welche die Form der Abb. 72—74 annehmen kann; bei den letzteren werden die Leiter II. Klasse durch flüssigkeitsgetränkte Scheiben aus Leinen, Leder oder dergleichen gebildet.

In solcher Säule vervielfacht sich die elektromotorische Kraft entsprechend der Zahl der Elemente. So ist VOLTA imstande, große elektrische Spannungen zu erzielen, welche er zunächst hauptsächlich für physiologische Versuche benutzt, welche aber auch direkt an gewöhnlichen Elektrometern gemessen werden können. VOLTA hat mit dieser Säule der Physik ein *Forschungsmittel ersten Ranges* geliefert, auf Grund dessen sich unsere heutige Elektrizitätslehre erst entwickeln konnte.

Die Aufstellung der Spannungsreihe und die Entwicklung der VOLTAschen Säule ist einer der größten Fortschritte in der Geschichte der Physik, sowohl was die subjektive Forscherleistung als auch die objektive Bedeutung betrifft. Der Weg von der *organischen* Elektrizität GALVANI^s in der geistreichen Auffassung des Verhältnisses Nerv-Muskel als einer durch tierische Elektrizität aufgeladenen Leydener Flasche bis zu der Auffindung einer ganz neuen *anorganischen* Elektrizitätsquelle erforderte den höchsten Grad geistiger Unabhängigkeit und experimenteller Virtuosität. Mit der VOLTAschen Säule war ein so mächtiges Forschungsinstrument in die Hände der Physiker gegeben, daß die Entdeckung der chemischen, magnetischen und thermischen Wirkungen des elektrischen Stromes nur eine Frage der Zeit war und im Grunde genommen noch auf das Ruhmeskonto VOLTAs^s geschrieben werden muß. Erst die Begründung des Induktionsgesetzes durch FARADAY kann als ein neuer gleichwertiger Fortschritt angesehen werden.

Die Gedankengänge VOLTAs^s haben nur einen Mangel, das ist ihr Widerspruch gegen das Energiegesetz. Dieses Gesetz beherrscht unser heutiges physikalisches Denken so vollständig, daß wir uns in die Zeit vor ROBERT MAYER gar nicht hineindenken können und sehr leicht den rechten Maßstab in unserem Urteil verlieren. Immerhin hatte die Erkenntnis, daß die chemischen Umsetzungen in der Säule das eigentlich Wirksame sind, durchaus in den Möglichkeiten der damaligen Zeit gelegen, wie RITTER^s chemische Theorie der Säule zeigt. Übrigens hat VOLTA die Paradoxie seines elektrischen Perpetuum mobiles in einer dunklen Vorahnung des Energiegesetzes selbst empfunden.